

被災事例を勘案した防波堤工法の検討

新垣 政弥、与那城 仁、島袋 秀人

株式会社 沖縄建設技研 (〒901-2126 沖縄県浦添市宮城三丁目 7 番 5-103 号)

キーワード：被災事例、台風、混成堤、直立堤

1. はじめに

台風は、毎年のように襲来し、そのもたらす被害は大きいものがある。特に、わが沖縄県は四方を海で囲まれていることから、防波堤や護岸などの港湾構造物への影響は、きわめて大きい。また、近年、コスト縮減が盛んにさげばれており、災害に強い工法の提案は、長期的にみて、コスト縮減につながる。

ここでは、過去の被災事例を勘案した「防波堤工法の検討」について報告する。

2. 台風の発生数と沖縄県への接近数

台風とは、熱帯の海上で発生する低気圧を「熱帯低気圧」と呼び、このうち北西太平洋で発達して中心付近の最大風速がおよそ 17m/s 以上になったものを「台風」と呼んでいる。

沖縄気象台より入手した資料により作成した月別の台風の発生数(平均値)と沖縄県への接近数(平均値)を示したグラフを示す(図-1)。ここで、沖縄県への接近とは、那覇、名護、久米島、宮古島、石垣島、西表島、与那国島、南大東島、のいずれかの気象管署から 300km 以内を通過することをいい、二つの月にまたがった場合は、両月に加算している。

台風は、年平均 26.7 個発生し、そのうち、沖縄県への接近は 7 個である。初秋(8 月中旬~9 月上旬)に接近する台風は、勢力があり、多大な被害を与えていることは、経験的に知られている。

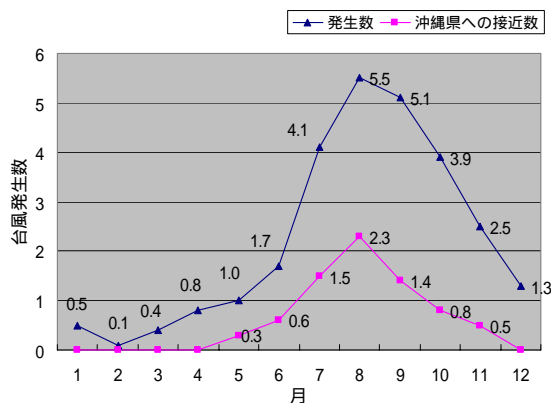


図-1. 台風の発生数(平均値)と沖縄県への接近数(平均値)

3. 設計概要

A 港は、図-2 に示すように港口部の水深が(-5~-23m)と深く、進入波の影響で港内の波浪が高くなるため、船舶の周航に影響を及ぼしている。よって、港内の静穏度を高めるため、外防波堤の延伸(L=120m(赤色着色部))及び内防波堤の新設(L=85m(青色着色部))が計画されていた。本業務では、内防波堤の工法(構造形式)について検討した。

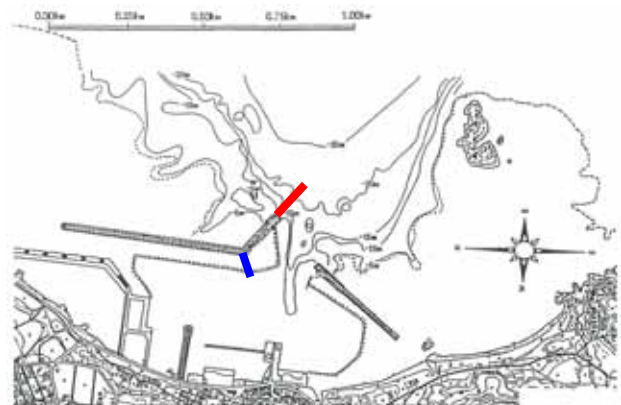


図-2. A 港の地形と計画概要

A 港は、台風による波浪のため、外郭施設を中心に毎年のように被災している。災害に強い構造形式の提案は、被災事例の整理、原因の把握から着手した。写真-1 に A 港の被災事例(全体)を示す。

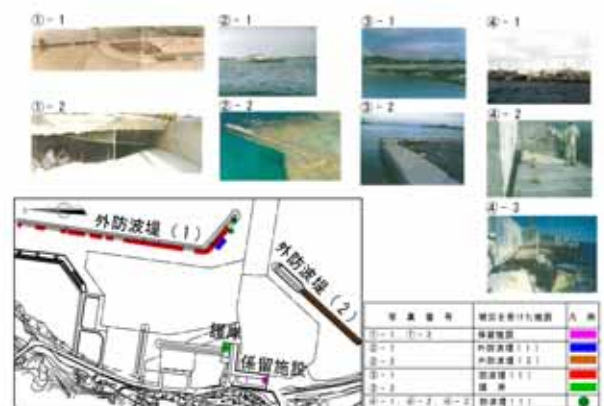


写真-1. A 港の被災事例

4. 被災事例

4.1 被災事例（その1）

図 - 3 は、1986 年 8 月 26 日に来襲した台風 13 号によって被災したもので、被災前後の外防波堤（1）の標準断面図を重ね合わせて示したものである。同様に、写真 - 2 はその状況を示している。

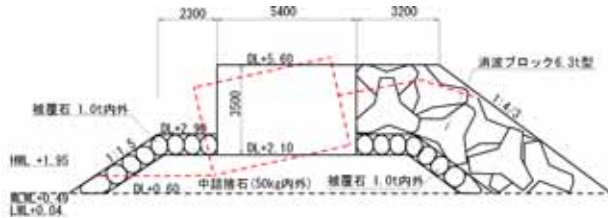


図 - 3. 外防波堤の被災断面（その1）



写真 - 2. 外防波堤の被災状況（その1）

設計根拠となった波浪条件などは不明であるが、上記資料より、次の事柄が推測できた。

- (1) 構造形式は消波機能を有する混成堤である。混成堤形式を採用することにより、直立部とマウンド部の高さを調整することによって、経済的な断面を得ることができる。
- (3) 基礎マウンドの天端高を（+2.1）とし、基礎マウンド背後の被覆材に 1t 内外の石材を用いている。天端高を H.W.L+1.95 より高く設定することにより、干満に左右されず、石材の均しや消波ブロックの据付を可能にし、施工性が格段に良くなることに加え、工事費も安価になる。
- (4) 写真 - 2 に示すように施工途中の被災であり、図 - 3 より被災形態は、波浪による直立部堤体の直接的な滑動や転倒ではなく、基礎マウンド背後法肩の崩壊による転倒と推測される。

4.2 被災事例（その2）

図 - 4 は、1997 年 8 月 16 日～18 日にかけて来襲した台風 13 号によって、外防波堤（1）が被災したもので、同様に、写真 - 3 はその状況を示している。

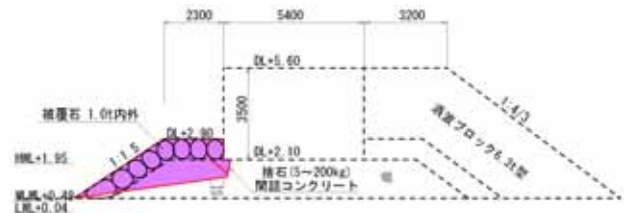


図 - 4. 外防波堤の被災断面（その2）



写真 - 3. 外防波堤の被災状況（その2）

被災事例（その1）と同様、設計根拠となった波浪条件は不明であるが、次の事柄が明らかになった。

- (1) 写真 - 3 より、外防波堤の所要延長の大部分が完成している。また、被災した箇所は、凹型隅各部を中心に、約 410m となっている。凹型隅各部であることから、波の収斂を招いた可能性がある。
- (2) 構造形式、基礎マウンドの天端高及び被災形態は、事例（その1）と類似している。

4.3 被災事例（その3）

その他、いつのころの台風かは不明であるが、港口付近外防波堤（1）の被災状況を写した写真を示す（写真 - 4.1，写真 - 4.2，写真 - 4.3）。



写真 - 4.1 外防波堤の被災断面（その3）



写真 - 4.2 外防波堤の被災断面（その3）



写真 - 4.3 外防波堤の被災断面（その3）

根固ブロックの重量は 13.8tf ($=2.0\text{m} \times 2.0\text{m} \times 1.5\text{m} \times 2.3\text{tf}/\text{m}^3$) と推定される。根固ブロックが設置されているにも関わらず、基礎マウンド法肩が崩壊している。

5. 防波堤の工法検討

5.1 設計波の算定

港内波高の算定は、港口部の水深が変化していることを考慮できる電算プログラム(グリーン関数法に基づく近似解析法)を用いて算出し、波高 $H=4.4\text{m}$ とした。また、周期 T 及び入射角 θ は、構造物に対して安全設計となるように、それぞれ $T=16.7\text{sec}$ (沖波周期と同値)、 $\theta=0^\circ$ とした。

5.2 計画箇所の地盤高

図 - 5 に計画箇所の縦断図を示す。起点側より3区間に分けて検討した結果の概要は以下のとおりである。

- 区間 : 延長 $L=10\text{m}$ 。既設外防波堤との接合部であることと、平面的な形状が凹型隅各部になることを考慮して区分した。
- 区間 : 延長 $L=45\text{m}$ 。平均地盤高が -0.5m であり、干満の影響に配慮しなければならない区間である。
- 区間 : 延長 $L=30\text{m}$ 。平均地盤高が -5.5m で、泊地に位置し、船舶の航行に支障がないように配慮しなければならない区間である。また、堤頭部であることにも配慮しなければならない。

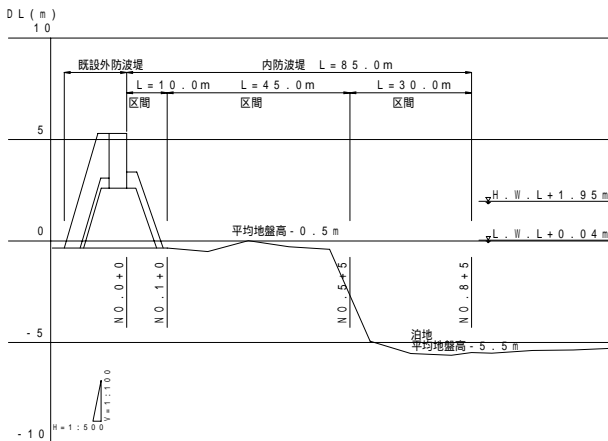


図 - 5. 防波堤計画箇所の縦断図

5.3 被災事例を勘案しての基本断面

これまで整備されてきた A 港の防波堤に関する被災事例についてまとめると、次の通りである。

- (1) 経済性を考慮して、構造形式は混成堤を採用している。
- (2) 基礎マウンド部の天端高は、施工性に配慮して H.W.L. より上方に設定している。
- (3) 被災は基礎マウンド背後の法肩が著しく、根固めブロックを設置しても被災している。

以上の事柄を考慮して、基本断面は基礎マウンドを有しない「直立堤」とした(図 - 6)。

区間 については、既設外防波堤の基礎マウンドが障害となり、直立壁の設置が困難であることから、消波ブロックによる透過堤とした。

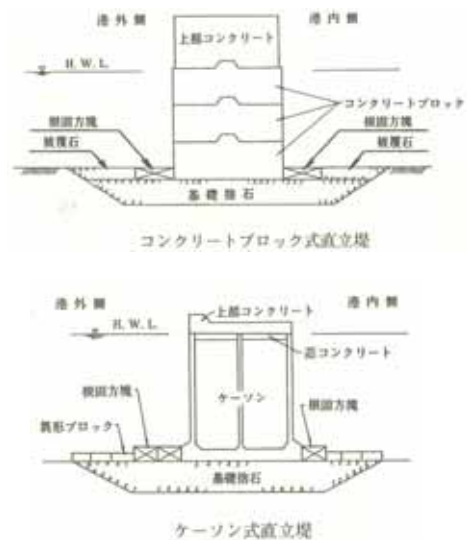


図 - 6. 被災事例を勘案して設定した基本断面

区間 については、後述するケーソン式では据付時の噴水の確保が困難であるが、区間 の完成後に、防波堤天端部を利用した陸上施工によるブロックの据付が可能となることからブロック式を採用した。

区間 については、船舶の航行に配慮して、消波ブロックを用いない直立堤とし、ブロック式とケーソン式による比較検討を行った。その結果、経済性と施工性の面からケーソン式が採用された。水深が深い箇所でのブロック式の場合、据付に要するクレーンの作業半径とブロック重量との関係から多段積にならざるを得ない。また、堤頭部はあらゆる方向から波浪を受けることや、多段積に伴う施工精度からも安定性が問題となった。ケーソン式の場合は、単一ブロックで安定性に優れ、施工も浮遊させて引船により曳航し、据付が可能で工法であることも採用の一因となった。

5.4 検討結果による標準断面等

波圧作用時における滑動、転倒、偏心傾斜荷重に対する支持力、円弧すべりを行い、断面を決定した。各種安定計算結果の一覧を表-1に示す。また、図-7.1及び図-7.2に標準断面図、図-8に平面図、図-9に縦断面図を示す。

なお、区間、区間ともに摩擦増大マット(アスファルト)の使用を検討した。アスファルトマットを使用することにより断面がスリムになり、経済性が考慮された。

表-1. 各種安定計算結果の一覧

	区間	区間
滑動	1.24 > 1.2	1.20 > 1.2
転倒	1.99 > 1.2	1.96 > 1.2
円弧すべり	2.86 > 1.3	4.47 > 1.3
偏心傾斜荷重	1.00 > 1.0	1.04 > 1.0

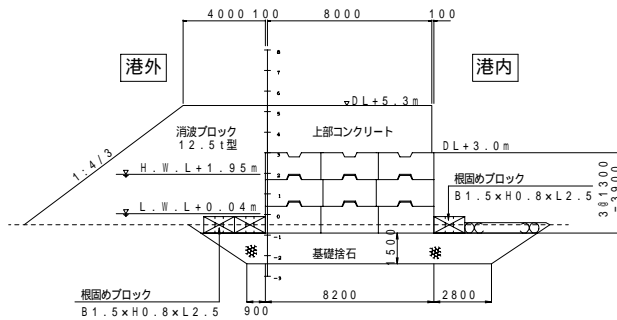


図-7.1 区間の標準断面図

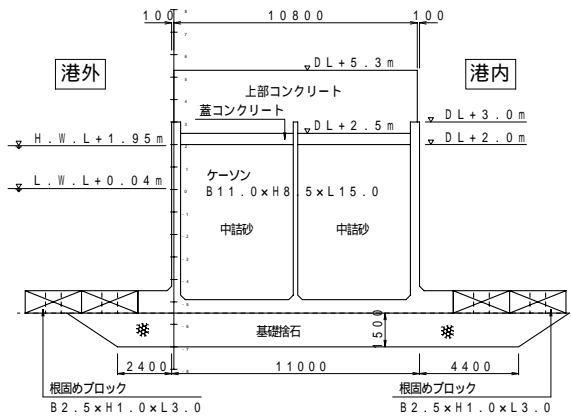


図-7.2 区間の標準断面図

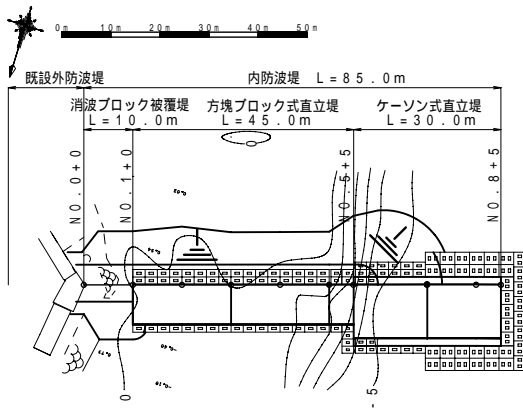


図-8. 平面図

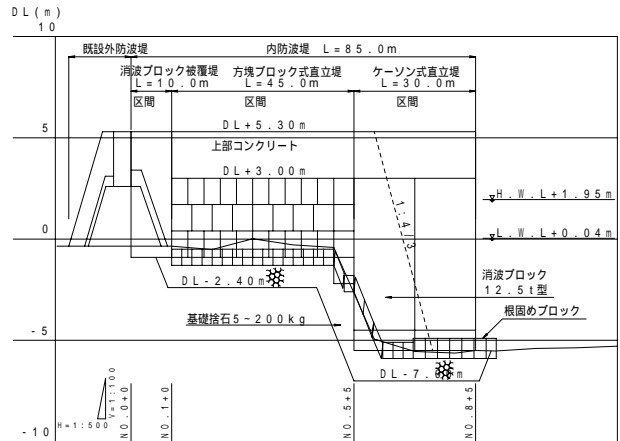


図-9. 縦断面図

6. おわりに

本検討においては、整備がある程度進んだ港を対象としたものであったこと、台風による多大な被害を毎年のように受けていたことから、被災事例に着目して実施した。

通常、防波堤に代表されるような波浪を外力とする構造物の設計を行う場合、各所管で設定されている沖波、設計箇所の地形、水深、海底勾配などをインプットデータとし、波浪変形計算を実施して設計波が算出される。それらの設計波はあくまで机上での計算値(推算値)であり、現地踏査や地元住民へのヒヤリング調査を実施し、その妥当性を評価する必要がある。場合によっては波浪観測の提案も念頭におく必要がある。長期的にみれば、コスト縮減につながると思われる。

本検討においても、現地調査および船舶関係者へのヒヤリング調査を実施し、設計波や消波ブロックの必要性を含む防波堤の工法が検討された。現地調査やヒヤリング調査は、アカウントビリティ(説明責任)を果たす上でも、重要であると思われる。

参考文献

- 1) 沖縄気象台ホームページ「気象資料の閲覧」
<http://www.okinawa-jma.go.jp/syokai/toukei/toukei.htm>
- 2) 財団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1999。
- 3) 沖縄県土木建築部港湾課：港湾・海岸構造物被災施設に関する記録集，平成10年3月